

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nl ungsschrift
⑪ DE 33 14899 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 33 14 899.6
㉑ Anm ld tag: 25. 4. 83
㉒ Offenlegungstag: 25. 10. 84

⑤ Int. Cl. 3:
H01F 7/16
F 16 K 31/06
F 02 M 51/06
F 15 B 13/043
B 41 J 3/10

DE 33 14899 A 1

⑦① Anmelder:
Mesenich, Gerhard, Dipl.-Ing., 4630 Bochum, DE

⑦② Erfinder:
Mesenich, Gerhard, 4630 Bochum, DE



Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Federanordnung mit Zusatzmasse zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Elektromagnetsystemen

Eine Zusatzmasse wird in einem Elektromagnetsystem so zwischen Anker und Rückstellfeder angeordnet, daß der Anker nach Erreichen einer Endlage von der Federkraft entlastet wird. Durch die Entlastung steht ein hoher Magnetkraftüberschuß zum Abbremsen der nachfolgenden Prellbewegung zur Verfügung. Die Massen- und Kräfteverhältnisse des Magnetsystems werden so abgestimmt, daß der anschließende Zusammenprall von Anker und Zusatzmasse gegenläufig erfolgt und die verbliebene kinetische Energie des Ankers durch den gegenläufigen Zusammenprall weitgehend aufgezehrt wird. Die Dimensionierung des Massen- und Kräfteverhältnisses wird beschrieben. Die geringe Prellbewegung erlaubt die Verwendung von Federsystemen mit sehr hohen Rückstellkräften bei angezogenem Anker, durch die die Bewegungszeiten des Ankers wesentlich verkürzt werden. Zur Erzeugung geeigneter Rückstellfederkraftkennlinien werden spezielle Federn und Federanordnungen beschrieben.

DE 3314899 A1

Ansprüche:

(1. Federanordnung mit Zusatzmasse zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Elektromagnetsystemen, insbesondere bei Einspritzventilen zur Kraftstoffeinspritzung bei Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Anker und Rückstellfeder eine oder mehrere Zusatzmassen angebracht sind, wobei zumindest eine Zusatzmasse nicht Teil des zu betätigenden Mechanismus ist, zur Lagerung der Rückstellfeder dient, die Masse der Zusatzmasse wesentlich geringer als diejenige des Ankers ist, und die sich auch nach Erreichen einer Endlage des Ankers gegen die Kraft einer oder mehrerer Rückstellfedern weiterbewegen kann, so daß der Anker nach Erreichen einer Endlage durch die sich weiterbewegende Zusatzmasse von der Rückstellfederkraft während einer im Vergleich zur Prellzeit des Ankers erheblichen Zeitspanne entlastet wird, so daß zum Abbremsen der Rückprallbewegung des Ankers ein hoher Kraftüberschuß zur Verfügung steht und dadurch die Prellzeit des Ankers wesentlich verkürzt wird.

2. Federanordnung mit Zusatzmasse zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Elektromagnetsystemen, insbesondere bei Einspritzventilen zur Kraftstoffeinspritzung bei Verbrennungsmotoren, wobei zwischen Anker und eine oder mehrere Rückstellfedern mindestens eine Zusatzmasse geschaltet ist, die Masse der Zusatzmasse wesentlich geringer als diejenige des Ankers ist, und die sich auch nach Erreichen einer Endlage des Ankers gegen die Kraft einer oder mehrerer Rückstellfedern weiterbewegen kann, wobei die Zusatzmasse auch durch den zu betätigenden Mechanismus gebildet werden kann, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker nach Erreichen einer Endlage durch die sich weiterbewegende Zusatzmasse von der Kraft mindestens einer Rückstellfeder entlastet wird und die Kraft- und Massenverhältnisse des Systems so abgestimmt werden, daß die nach Aufprall des Ankers verbleibende Bewegungsenergie in einem zweiten gegenläufigen Zusammenprall von Anker und Zusatzmasse weitgehend dissipiert wird.

3. Federanordnung mit Zusatzmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
daß die Rückstellfederkraftkennlinie einen Sprung aufweist, so daß gegen Ende des Anzugsvorgangs eine stark erhöhte Rückstellkraft zur Verfügung steht, die vorzugsweise nur knapp unterhalb der Sättigungsinduktionskraft des Magnetsystems liegt, und die Rückstellkraft zu Beginn der Anzugsbewegung vorzugsweise wesentlich weniger als die Hälfte der Sättigungsinduktionskraft beträgt.
4. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
daß die sprunghafte Rückstellfederkraftkennlinie durch Parallelschaltung oder Serienschaltung zweier Federn und durch Hubbegrenzung einer der beiden Federn erzielt wird.
5. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet,
daß die Federkennlinie vor und nach dem Sprung möglichst waagrecht verläuft oder in Richtung der Anzugsbewegung abfällt.
6. Federanordnung mit Zusatzmasse nach einem der Ansprüche 3-5, dadurch gekennzeichnet,
daß der Anzugsweg bis zum Erreichen des Federkraftsprungs 40-90%, vorzugsweise ca. 60% des gesamten Ankerhubes beträgt.
7. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet,
daß die Rückstellfederkraftkennlinie sehr steil verläuft, so daß gegen Ende des Anzugsvorgangs eine stark erhöhte Rückstellkraft zur Verfügung steht, die vorzugsweise nur knapp unterhalb der Sättigungsinduktionskraft des Magnetsystems liegt, und die Rückstellkraft zu Beginn der Anzugsbewegung vorzugsweise wesentlich weniger als die Hälfte der Sättigungsinduktionskraft beträgt.
8. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,

3314899
daß zur Erzeugung der steilen Federkraftkennlinie bei Magnet-
systemen mit sehr kleinem Ankerhub eine Membranfeder dient.

9. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

daß die Membranfeder am Außenrand und/oder in der Mitte verstärkt ist.

10. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,

daß die mittige Verstärkung der Membranfeder vorzugsweise rohrförmig und so groß ausgeführt wird, daß die mittige Verstärkung als Zusatzmasse dienen kann.

11. Federanordnung mit Zusatzmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

daß die Magnetkraftkennlinie die Federkraftkennlinie schneidet, so daß die Ankergeschwindigkeit nach dem Kennlinienschnittpunkt verringert wird.

12. Federanordnung mit Zusatzmasse nach einem der Ansprüche 3-10, dadurch gekennzeichnet,

daß der Restluftspalt gegenüber bekannten Magnetsystemen stark vermindert wird oder ganz entfällt.

13. Federanordnung mit Zusatzmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

daß das dynamische Verhalten des Magnetsystems zum Ausgleich von Serienstreuungen durch Verstellen der Vorspannung von einer oder mehrerer Federn des Systems und/oder durch Verstellen des Ankerhubes und/oder des Weges bis zum Erreichen des Rückstellfederkraftsprunges und/oder durch Auswahl von Federn mit verschiedener Federkonstante kalibriert wird.

14. Federanordnung mit Zusatzmasse nach Anspruch 2 in Verbindung mit einem der Ansprüche 3-13, dadurch gekennzeichnet,

daß abweichend von Anspruch 1 die Zusatzmasse ein Teil des zu betätigenden Mechanismus ist.

Federanordnung mit Zusatzmasse zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Elektromagnetsystemen

Es ist eine Vielzahl von elektromagnetischen Systemen bekannt, an die hohe Anforderungen bezüglich der Schnelligkeit, Reproduzierbarkeit und Prellarmut der Ankerbewegung gestellt werden. Beispiele hierfür sind elektromagnetische Einspritzventile für Verbrennungsmotoren, elektromagnetische Nadeldrucker, schnelle Hydraulikventile.

Allen Anordnungen ist ein elektromagnetischer Kreis, bestehend aus Erregerspule, Anker und magnetischem Rückschluß gemeinsam. Der Anker wird nach Einschalten des Erregerstromes gegen die Kraft einer oder mehrerer Federn in eine Endlage bewegt. Um einen genügend kurzen Anzugsvorgang zu erreichen, kann die Federkraft nur einen Teil der Anzugskraft des Magnetsystems betragen. Trotzdem reicht der Kraftüberschuß des Magneten gegen Ende des Anzugsvorgangs im allgemeinen nicht aus, um ein Zurückprellen des Ankers zu verhindern. Die Prellbewegung ist umso stärker, je geringer der Kraftüberschuß der Magnetkraft über die Federkraft ist.

Während des Prellvorgangs ist es nicht möglich den Spulenstrom abzuschalten, ohne daß dadurch die Reproduzierbarkeit des Betätigungsvorgangs beeinträchtigt wird. Wird der Spulenstrom vor Beendigung des Prellvorgangs abgeschaltet, ergeben sich unterschiedliche Bewegungsverhältnisse des Ankers, je nachdem ob sich der Anker im Moment des Abschaltens entgegen oder in der Rückstellrichtung bewegt.

Beim Abschalten des Stromes wird die Rückstellbewegung durch Wirbelströme im magnetischen Kreis und durch die Bedämpfung der Spule verzögert. Die Ankerbewegung beginnt, sobald die Federkraft die durch Wirbelströme und Bedämpfung hervorgerufene Induktionskraft und die remanente Magnetkraft übersteigt.

Um einen kurzen Rückstellverzug zu erreichen, ist es üblich, einen Restluftspalt vorzusehen, der jedoch den Haltestrombedarf und damit den Energieverbrauch des Elektromagneten vergrößert. Kurze Rückstellverzugszeiten werden nur mit hohen Federkräften erreicht, die jedoch den Kraftüberschuß der Magnetkraft verringern und damit das Prellen vergrößern.

Ziel der Erfindung ist es, den Anzugsvorgang durch eine angepaßte Federkennlinie zu beschleunigen, das Prellen weitgehend zu beseitigen, und durch hohe Rückstellkräfte den Rückstellvorgang zu verkürzen. Durch die dann gegebene Möglichkeit eines verringerten Restluftspaltes wird der Energiebedarf des Magneten und die erforderliche Löschleistung der Ansteuerelektronik herabgesetzt und der Anzugsvorgang beschleunigt.

Zur Erklärung der Wirkungsweise wird zunächst die erfindungsgemäße Einwirkung auf den Prellvorgang anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert:

Fig.1 zeigt ein Elektromagnetventil zur Kraftstoffeinspritzung bei Verbrennungsmotoren. Im Gegensatz zu den üblichen Ausführungsformen ist hierbei die Ventalnadel (1) mit dem Anker (4) nicht fest verbunden, so daß ein Zweimassensystem gebildet wird. Der Anker (4) ist im Ventilgehäuse (7) gelagert. Die Ventalnadel wird am unteren Ende durch den Düsenkörper (8) und am oberen Ende durch den Anker (4) mit geringem Spiel axial beweglich geführt. Die Anzugskraft des Ankers (4) wird über das mit der Ventalnadel (1) fest verbundene Mitnehmerstück (2) übertragen. Das Ventil wird durch die Rückstellfeder (3) geschlossen. Eine zweite Feder (6), deren Kraft wesentlich geringer ist, als diejenige der Rückstellfeder (3), bringt den Anker (4) nach Beendigung eines Arbeitsspiels zur Anlage an das mit der Ventalnadel (1) fest verbundene Mitnehmerstück (2).

Nach Einschalten des Erregerstromes steigt die Magnetkraft an. Nach Überschreiten der Haltekraft der Federn wird der Anker (4) und die mit der Rückstellfeder (3) verbundene Ventalnadel durch

die Magnetkraft gemeinsam beschleunigt. Nach Anschlag des Ankers (4) auf den Magnetpol (5) bewegt sich die Ventilmadel (1) infolge ihrer Eigenträgheit weiter, so daß sich die Verbindung zwischen Anker und Ventilmadel löst. Hierdurch wird der Anker während des Zurückprallens von der Federkraft der Feder (3) entlastet, so daß die Prellbewegung des Ankers wegen der nun wesentlich größeren wirksamen Magnetkraft stark verkürzt wird. Die Bewegung der Ventilmadel wird durch die Rückstellfeder abgebremst und anschließend umgekehrt. Die Bewegung von Anker und Ventilmadel wird durch zweckmäßige Wahl von Massen- und Kräfteverhältnissen so abgestimmt, daß die Bewegung von Anker- und Ventilmadel im Moment des Zusammenpralls gegenläufig erfolgt und die verbliebene kinetische Energie durch den Zusammenprall möglichst weitgehend dissipiert wird.

Nach Abschalten des Erregerstromes werden Anker und Ventilmadel durch die Feder (3) gemeinsam zurückgestellt. Nach dem Schließen des Ventils löst sich der Anker (4) von der Ventilmadel (1) und wird durch hydraulische Dämpfung abgebremst. Da jetzt die volle Federkraft nur noch auf die Ventilmadel (1) wirkt, wird der anschließende Prellvorgang der Ventilmadel durch den hohen Kraftüberschuß in kürzester Zeit zum Stillstand gebracht.

Die Bewegungsverhältnisse sind zum besseren Verständnis in Fig. 2 unter der vereinfachenden Annahme konstanter Feder- und Magnetkraft dargestellt. Die gemeinsame Bewegung von Anker und Ventilmadel beginnt nach Einschalten des Erregerstroms im Punkt x_0 . Nach Zurücklegen des Anzugswegs schlägt der Anker zum Zeitpunkt t_0 auf den Mittelpol auf und prallt zurück; wobei sich die Ventilmadel löst und ihren Weg weiter fortsetzt. Der Weg der Ventilmadel ist durch eine punktierte Linie dargestellt, der Weg des Ankers durch die durchgezogene Linie. Die Bewegungsrichtung des Ankers wird durch die Magnetkraft, diejenige der Ventilmadel durch die Rückstellfederkraft umgekehrt, so daß zum Zeitpunkt t Ventilmadel und Anker gegenläufig aufeinanderprallen. Hierbei wird die kinetische Energie der beiden Körper weitgehend dissipiert. Anschließend bewegen sich Anker und Ventilmadel unter dem Einfluß der Magnetkraft mit wesentlich reduzierter Geschwin-

digkeit in die Endlage. Zum Vergleich ist noch die Bewegung dargestellt, die sich ergäbe, wenn Anker und Ventalnadel wie bei herkömmlichen Systemen fest miteinander verbunden wären (gestrichelte Linie). Durch das wesentlich stärkere Prellen entsteht eine unerwünschte Vergrößerung der reproduzierbar einspritzbaren Kraftstoffmenge.

Fig.3 zeigt die auf den Anker wirkende Feder- und Magnetkraft. Zu Beginn der Bewegung wird der Anker durch den Überschuß der Magnetkraft über die Federkräfte beschleunigt. Zum Zeitpunkt t_0 wird der Anker von der Rückstellfederkraft entlastet, so daß zum Abbremsen der Prellbewegung die gesamte Magnetkraft zur Verfügung steht. Nach dem gegenläufigen Zusammenprall von Anker und Ventalnadel zum Zeitpunkt t wird der Anker mit wesentlich verminderter Geschwindigkeit in die Endlage gezogen.

Bei dem bisher dargestellten Einspritzventil wurde die Zusatzmasse durch die Ventalnadel gebildet. Hierdurch ergab sich der Vorteil, daß auch der Prellvorgang nach dem Schließen des Ventils durch einen hohen Kraftüberschuß der Rückstellfeder verkürzt werden konnte. Bei Einspritzventilen zur Einspritzung in das Saugrohr von Verbrennungsmotoren wird die Zumeßgenauigkeit des Kraftstoffs jedoch von dem Prellvorgang nach dem Schließen des Ventils nur wenig beeinflusst, weil der Prellvorgang nach dem Schließen des Ventils stets in der gleichen reproduzierbaren Weise erfolgt. Die bekannten Einspritzventilbauformen, bei denen der Anker direkt mit dem Ventilschließkörper verbunden ist, bzw. bei denen der Anker selbst den Ventilschließkörper bildet, können daher in besonders einfacher Weise verbessert werden, indem die Zusatzmasse zwischen Anker und Rückstellfeder angebracht wird.

Fig.4 zeigt eine solche Anordnung der Zusatzmasse anhand eines ansonsten bekannten Einspritzventils. Der Anker (45) ist mit der Ventalnadel (47) fest verbunden. Die Ventalnadel wird vom Düsenkörper (48) mit geringem Radialspiel geführt und der Hub der Ventalnadel wird von der Anschlagplatte (45) begrenzt. Der Anker wird von der Rückstellfeder (42) zurückgestellt. Zwischen Rückstellfeder und Anker befindet sich die bewegliche rohrförmige

Zusatzmasse (43) aus nicht magnetisierbarem Material. Die Zusatzmasse setzt ihren Weg nach Anschlag der Ventilnadel auf die Anschlagplatte (45) weiter fort und entlastet hierdurch den Anker von der Kraft der Rückstellfeder. Die Bewegungsverhältnisse werden in der bereits beschriebenen Weise aufeinander abgestimmt. Zusätzlich ist in den Anker eine Platte (44) aus dämpfendem Kunststoff eingelassen. Durch die Platte (44) wird eine zusätzliche Dissipation beim gegenläufigen Zusammenprall von Anker und Zusatzmasse erreicht. Weiterhin wird durch die Platte eine Kraftspitze beim Schließen des Ventils erzeugt, die den anschließenden Prellvorgang verkürzt. Die Beeinflussung der Bewegungsverhältnisse durch die Platte ist jedoch im allgemeinen nicht sehr groß, so daß im Interesse einer einfachen Fertigung auch auf die Platte verzichtet werden kann.

Fig.5 zeigt als weiteres erfindungsgemäßes Beispiel ein Kraftstoffeinspritzventil, bei dem der Anker selbst als Ventilschließkörper dient. Hierbei ist die Zusatzmasse (51) zwischen Anker (52) und Rückstellfeder (50) angebracht. Die Funktionsweise ist nach den bisherigen Erläuterungen ohne weiteres verständlich. Eine ähnliche Anordnung kann auch bei Einspritzventilen, die als Anker und Ventilschließkörper eine Kugel aus magnetisierbarem Material und eine Rückstellfeder besitzen, angewendet werden. Hierzu wird eine ringförmige Zusatzmasse zwischen der Kugel und der Rückstellfeder angebracht. Die ringförmige Zusatzmasse kann bei entsprechender Formgebung auch aus magnetisierbarem Material bestehen, um die Streuverluste zu verringern und die Arbeitsluftspaltinduktion zu vergrößern.

Durch die bisher dargestellte Abstimmung des Massen- und Kräfteverhältnisses wird die Prellbewegung drastisch verkürzt und damit die reproduzierbar einspritzbare Kraftstoffmenge wesentlich verringert. Eine deutliche Verbesserung des Prellverhaltens kann jedoch unter Verzicht auf die Abstimmung der Bewegungsverhältnisse auch bereits dann erzielt werden, wenn der Anker während einer im Vergleich zur Prellzeit erheblichen Zeitspanne durch die Weiterbewegung der Zusatzmasse von der Rückstellfederkraft entlastet wird, so daß zum Abbremsen der Rückprallbewegung des

Ankers ein hoher Magnetkraftüberschuß zur Verfügung steht.

Durch die bisher dargestellte Federanordnung mit Zusatzmasse wird die Geschwindigkeit der Anzugs- und Abfallbewegung noch nicht beeinflußt. Eine wesentliche Verkürzung sowohl der Anzugs- als auch der Abfallbewegung bei gleichzeitiger Verminderung des Prellens wird durch die Kombination eines Mehrmassensystems mit einer speziellen Federanordnung erreicht.

Zur Erklärung der Wirkungsweise soll zunächst der Bewegungsverlauf in Abhängigkeit vom Kraftverlauf allgemein betrachtet werden:

Die kinetische Energie und damit die Aufprallgeschwindigkeit eines reibungsfrei bewegten Körpers ist ausschließlich von der zugeführten Arbeit abhängig. Die zugeführte Arbeit ist das Integral des Kraftverlaufes über dem Weg. Für die kinetische Energie spielt die Art des Kraftverlaufes bei gleicher zugeführter Arbeit keine Rolle. Für den Geschwindigkeitsverlauf der Bewegung ist es jedoch keinesfalls gleichgültig, in welcher Form des Kraftverlaufes die Antriebsarbeit zugeführt wird. Eine große Beschleunigungsarbeit zu Beginn der Bewegung führt zu einem hohen Geschwindigkeitsniveau, das während der gesamten Bewegung aufrechterhalten wird, und damit zu kurzen Bewegungszeiten. Eine hohe Arbeitsfreisetzung gegen Ende der Bewegung vergrößert demhingegen nur die Aufprallgeschwindigkeit und damit das Prellen, ohne die Bewegungszeit wesentlich zu verkürzen. Bei einer Bewegung, bei der die gesamte Beschleunigungsarbeit zu Beginn freigesetzt wird, wird die Bewegungszeit gegenüber einer Bewegung mit konstantem Kraftverlauf halbiert.

Bei Magnetsystemen kann die Bewegungszeit des Ankers durch eine angepaßte Federkennlinie wesentlich verkürzt werden. Die günstigsten dynamischen Verhältnisse werden mit sprunghaft ansteigenden Federkraftkennlinien erzielt. Hierzu muß bei großem Magnetluftspalt eine geringe Federkraft wirken, so daß beim Anzug des Ankers zu Beginn der Bewegung ein hoher Magnetkraftüberschuß zur Beschleunigung des Ankers zur Verfügung steht. Nach Zurücklegen

eines Teiles des Anzugswegs muß die Rückstellfederkraft sprunghaft ansteigen, um bei der anschließenden Rückstellbewegung kurze Bewegungszeiten zu erzielen. Durch die sprunghaft ansteigende Federkraft gegen Ende der Anzugsbewegung wird die kinetische Energie des Ankers in erwünschter Weise verringert, ohne die Bewegungszeit nennenswert zu verlängern. Die hohe Rückstellfederkraft würde allerdings wegen des geringen Magnetkraftüberschusses gegen Ende der Anzugsbewegung ohne weitere Maßnahmen zu stärksten Prellbewegungen führen, wodurch das Verfahren unbrauchbar wird.

Die Prellbewegungen werden erfindungsgemäß unterdrückt, indem die sprunghaft ansteigende Federkennlinie durch eine Zusatzfeder erzeugt wird, die mit einer Zusatzmasse verbunden ist. Die Zusatzmasse wird so angeordnet, daß sie sich nach Aufschlag des Ankers vom Anker löst und diesen von einem Teil der Federkraft entlastet, so daß ein ausreichend hoher Kraftüberschuß zum Abbremsen der Prellbewegung zur Verfügung steht. Die Bewegungsverhältnisse werden zweckmäßigerweise wieder so abgestimmt, daß die Bewegung von Anker und Zusatzmasse im Moment des Zusammenpralls der beiden Körper gegenläufig erfolgt und die verbliebene kinetische Energie möglichst weitgehend dissipiert wird.

Durch die hohe Rückstellfederkraft, die bis zu ca. 90% der Sättigungsinduktionskraft betragen kann, werden äußerst kurze Rückstellverzugszeiten erreicht, die im Vergleich zur Rückstellzeit auch bei kleinen Ankerhüben vernachlässigbar gering sind. Wegen der günstigen Form des Kraftverlaufs, bei dem hohe Beschleunigungskräfte zu Beginn der Rückstellbewegung zur Verfügung stehen, werden kurze Rückstellzeiten erreicht.

Bei den üblichen Ausführungsformen elektromagnetischer Einspritzventile für Verbrennungsmotoren liegt der Restluftspalt in der Größenordnung des Arbeitsluftspaltes. Wegen der hohen Rückstellfederkraft kann der Restluftspalt des magnetischen Kreises gegenüber den üblichen Ausführungsformen stark vermindert werden, ohne das dies zu nennenswertem Rückstellverzug führt. Durch den verminderten Restluftspalt wird die Streuung des Magnetkreises verringert und damit der Wirkungsgrad der elektrischen Energie-

umsetzung bei kleinen Ankerhüben wesentlich verbessert.

Obwohl mit sprungförmigen Federkennlinien die günstigsten dynamischen Eigenschaften erzielt werden, ist deren technische Realisierung schwierig; insbesondere bei sehr kleinen Ankerhüben, wie beispielsweise bei elektromagnetischen Einspritzventilen für Verbrennungsmotoren. Rechnung und Versuch zeigten jedoch, daß mit sehr steilen linearen Federkennlinien fast ebensogute Ergebnisse erzielt werden können, sofern bereits zu Beginn der Anzugsbewegung ein hoher Magnetkraftüberschuß zur Verfügung steht. Ein schneller Magnetkraftaufbau zu Beginn der Ankerbewegung kann durch Schnellerregung der Magnetspule erzielt werden. Bei sehr kleinen Federwegen sind Schraubenfedern zur Erzeugung der erforderlichen steilen Federkraftkennlinien wegen mangelhafter Langzeitstabilität wenig geeignet; Besser geeignet sind Tellerfedern, Membranfedern oder Biegefedern. Tellerfedern besitzen jedoch nur kleine Auflageflächen, die in hohem Maße verschleißanfällig sind. Diese Nachteile werden von Membranfedern vermieden, die aus einer runden flachen Platte bestehen. Weiterhin geeignet sind flache rotationssymmetrische Federn mit radial angeordneten Armen oder andere Formen von Biegefedern. Besonders zweckmäßige Ausführungsformen ergeben sich, wenn die erwähnten geeigneten Federn gleichzeitig zur Lagerung oder Führung des Ankers oder des zu betätigenden Mechanismus verwendet werden. Die Bewegungsverhältnisse des Systems mit steil ansteigender Federkennlinie werden ebenso wie bei den Systemen mit sprunghafter Federkennlinie abgestimmt.

Bei der Auslegung des Systems ist die Dimensionierung der Massen- und Kräfteverhältnisse in gewissen Grenzen unkritisch, sofern nur dafür gesorgt ist, daß nach dem Ankeraufschlag durch die Entlastungswirkung der Zusatzmasse ein hoher Kraftüberschuß zum Abbremsen der Prellbewegung zur Verfügung steht. Wegen der bei den verschiedenen Magnetsystemen stark differierenden dynamischen und geometrischen Verhältnisse können jedoch keine einfachen allgemeingültigen Dimensionierungsvorschriften angegeben werden. Die genaue Berechnung ist kompliziert, so daß eine experimentelle Bestimmung der günstigsten Betriebsparameter meist schneller zum

Ziel führt. Bei Magnetsystemen mit sehr geringem Ankerhub ergeben sich im allgemeinen günstige Verhältnisse, wenn die verstärkte Federkraft das 2-5fache, vorzugsweise ca. das 3fache der Anfangsfederkraft beträgt. Bei sprunghaften Federkennlinien sollte die verstärkte Federkraft auf einem Weg von 30-40% des Ankerhubes wirksam sein. Weiterhin ist es günstig, wenn die Federkraftkennlinie im verstärkten Bereich möglichst waagrecht verläuft oder gegen Ende der Anzugsbewegung abnimmt. Das erforderliche Massenverhältnis ist in starkem Maße vom kinetischen Energieverlust beim Aufprall der einzelnen Massen abhängig. Hydraulische Kräfte liegen während der Bewegung der einzelnen Teile des Magnetsystems im allgemeinen wesentlich niedriger als die übrigen Kräfte; können jedoch beim Aufprall der einzelnen Teile, wenn die Flüssigkeit aus engen Spalten herausgedrängt wird, durchaus bedeutende Werte annehmen. Die Rückprallgeschwindigkeit der bewegten Teile ist daher bei flüssigkeitsumspülten Systemen in starkem Maße von der Geometrie der Spalte zwischen den bewegten Teilen und den übrigen Teilen abhängig. Das erforderliche Massenverhältnis zwischen Anker und Zusatzmasse ist nach zweckmäßiger Wahl der Federkraftkennlinie bei gegebener Magnetkraftkennlinie fast ausschließlich vom Energieverlust beim Zusammenprall der einzelnen Teile abhängig. Abhängig von den übrigen Dimensionierungen muß die Zusatzmasse bei elektromagnetischen Einspritzventilen meist ca. 5-20% der Ankermasse betragen.

In der Literatur wird gelegentlich behauptet, daß die Magnetkraft die auf den Anker wirkenden äußeren statischen Kräfte stets übersteigen müsse, um die Bewegung nicht zum Stillstand zu bringen. Dies ist nicht richtig, da bei dieser Betrachtung die kinetische Energie des Ankers unberücksichtigt bleibt. Im Interesse einer weichen, prellarmen Bewegung kann es sogar günstig sein, wenn die Rückstellfederkraft die Magnetkraft auf einem Teil des Weges übersteigt. Bedingung für eine ungestörte Bewegung ist lediglich, daß die kinetische Energie der bewegten Teile vor dem Schnittpunkt der Federkennlinie mit der Magnetkraftkennlinie größer ist, als das Arbeitsintegral der die Magnetkraft übersteigenden Federkraft. Durch den Federkraftüberschuß wird die kinetische Energie der bewegten Teile gegen Ende des Bewegungsvorgangs in erwünsch-

ter Weise verringert. Allerdings muß im Moment des Ankeraufschlags auch hier die Magnetkraft die Federkraft übersteigen, um das stets vorhandene Prellen zu unterdrücken und die Bewegung zum Stillstand zu bringen.

Fig.6 und Fig.7 zeigen zur Veranschaulichung zwei Kennlinien, bei denen die Magnetkraftkennlinie die Federkennlinie zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens schneidet. Fig.6 zeigt die typische Magnetkraftkennlinie eines Magnetsystems ohne Kennlinienbeeinflussung, das mit einem Federsystem kombiniert ist, dessen Kennlinie einen Sprung besitzt. Hierbei ist die Magnetkraftkennlinie als durchgezogene Linie, die Federkraftkennlinie als gestrichelte Linie dargestellt. Bis zum Punkt x_1 übersteigt die Magnetkraft die Federkraft, so daß der Anker beschleunigt wird. Im Punkt x_1 entspricht die kinetische Energie des Ankers dem Integral der kreuzschraffierten Fläche, die mit einem +Zeichen versehen ist. Bei der Weiterbewegung durchläuft der Anker ein Gebiet, in dem die Federkraft die Magnetkraft übersteigt, so daß die Geschwindigkeit wieder abnimmt. Der Verlust an kinetischer Energie entspricht dem Integral der schraffierten Fläche. Die Bedingung für das vollständige Durchlaufen des Gebietes, in dem die Federkraft die Magnetkraft übersteigt, ist lediglich, daß die kinetische Energie des Ankers vor Eintritt in das Gebiet größer ist, als das Arbeitsintegral der die Magnetkraft übersteigenden statischen Kräfte. In der grafischen Darstellung muß also die kreuzschraffierte Fläche größer als die schraffierte Fläche sein. Um die Bewegung gegen Ende des Anzugsvorgangs zum Stillstand zu bringen, ist es weiterhin selbstverständlich erforderlich, daß die Magnetkraft die Federkraft und die sonstigen statischen Kräfte gegen Ende des Anzugsvorgangs übersteigt. Durch zweckmäßige Abstimmung der Weg- und Kräfteverhältnisse können insbesondere in Kombination mit dem zuvor beschriebenen Zusatzmassensystem außerordentlich weiche, prellarme und schnelle Ankerbewegungen erzielt werden.

Fig.7 zeigt die gleichen Zusammenhänge bei einem System mit Magnetkraftkennlinienbeeinflussung. Es macht deutlich, daß in besonderen Fällen auch bei konstantem Federkraftverlauf eine

starke Beeinflussung der Dynamik durch Schneiden von Feder- und Magnetkraftkennlinie möglich ist.

Die technische Realisierung der vorstehenden Erläuterungen soll nachfolgend anhand einiger erfindungsgemäßer Ausführungsformen gezeigt werden:

Fig.8 zeigt ein Kraftstoffeinspritzventil für Verbrennungsmotoren, das bezüglich der Geometrie des magnetischen Kreises den üblichen Ausführungsformen entspricht. Abweichend von den üblichen Ausführungsformen besitzt das Ventil zwei Rückstellfedern: die Schraubenfeder (11) und die Tellerfeder (15). Unter der Tellerfeder (15) befindet sich die bewegliche Zusatzmasse (16). Die Zusatzmasse (16) liegt auf dem Ventilkörper (18) auf, so daß zwischen dem Anschlagteller der Ventilnadel (17) und der Zusatzmasse (16) bei geschlossenem Ventil ein gewisses Spiel verbleibt.

Nach Einschalten des Erregerstroms wird der Anker (13) und die mit dem Anker fest verbundene Ventilnadel (17) gegen die Kraft der Schraubenfeder (11) angezogen. Nach Zurücklegen eines Teils des Ankerweges prallt der Anschlagteller der Ventilnadel (17) gegen die Zusatzmasse, wobei sich die Federkraft der Schraubenfeder (11) zu der Federkraft der Tellerfeder (15) addiert. Gegen Ende der Anzugsbewegung schlägt der Anker (13) auf den Magnetpol (10) auf und prallt zurück. Die Zusatzmasse (16) kann jedoch ihre Bewegung gegen die Kraft der Tellerfeder (15) weiter fortsetzen, wodurch der Anker entlastet wird und ein hoher Magnetkraftüberschuß zum Abbremsen der Prellbewegung zur Verfügung steht.

Nach Abschalten des Magneten wird der Anker durch die gemeinsame Kraft der beiden Federn zurückgestellt. Durch die verbesserte Dynamik wird die reproduzierbar einspritzbare Kraftstoffmenge auf einen Bruchteil des Wertes der üblichen Ausführungsformen reduziert, wodurch die Zumeßgenauigkeit besonders im kritischen Leerlaufbereich wesentlich verbessert wird.

Bei dem in Fig.8 dargestellten Versuchsventil konnten gegenüber der üblichen Ventilausführung mit nahezu konstantem Federkraft-

verlauf bei gleichen elektrischen Ansteuerbedingungen und bei gleicher Anfangsfederkraft folgende Verbesserungen der Dynamik erzielt werden: Wegen des verminderten Restluftspaltes wurden bei dem Versuchsventil trotz der wesentlich größeren Federkräfte die gleichen Anzugszeiten erreicht. Die anschließende Prellzeit wurde auf ca.30% des Wertes der üblichen Ausführung verkürzt. Die Abfallzeit wurde um ca.50% verkürzt, wobei kein nennenswerter Rückstellverzug auftrat. Trotz der kurzen Rückstellzeit des Versuchsventils wurde auch der Prellvorgang nach Schließen des Ventils um ca.50% verkürzt, was auf eine erhebliche Dämpfung des Rückstellvorgangs durch noch nicht abgeklungene Wirbelströme im Magneteisen zurückzuführen war. Bei wirbelstromarmen Magnetkreisformen kann abhängig von der elektrischen Bedämpfung der Spule eine noch wesentlich stärkere Verminderung der Rückstellzeit erzielt werden.

Die dynamischen Verhältnisse des Einspritzventils nach Fig.8 sind in Fig.9, Fig.10 und Fig.11 unter der vereinfachenden Annahme konstanter Feder- und Magnetkräfte und unter Vernachlässigung der hydraulischen Kräfte dargestellt. Fig.9 zeigt die Bewegung des Ankers und der Zusatzmasse als Funktion der Zeit, wobei die Bewegung der Zusatzmasse als punktierte Linie dargestellt ist. Hierbei ist zu erkennen, daß die Geschwindigkeit des Ankers nach Aufprall auf die Zusatzmasse zum Zeitpunkt t_1 weniger stark zunimmt, wodurch die Aufprallgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t_0 herabgesetzt wird. Zum Zeitpunkt t_0 löst sich die Zusatzmasse und entlastet den Anker von der Kraft der Zusatzfeder, so daß ein hoher Magnetkraftüberschuß zum Abbremsen der Rückprallbewegung zur Verfügung steht. Anker und Zusatzmasse prallen zum Zeitpunkt t gegenläufig aufeinander, wobei die kinetische Energie der beiden Teile weitgehend umgewandelt wird und die anschließende Prellbewegung schnell zum Stillstand kommt. Zum Zeitpunkt t_2 wird der Erregerstrom abgeschaltet. Die anschließende Rückstellbewegung beginnt wegen der hohen Rückstellfederkraft nahezu verzugsfrei mit großer Beschleunigung. Zum Zeitpunkt t_3 schlägt die Zusatzmasse auf den Ventilkörper auf und entlastet den Anker. Der Anker setzt seinen Weg mit verminderter Beschleunigung fort und erreicht zum Zeitpunkt t_4 die Endlage. Der anschließende

Prellvorgang ist trotz der kurzen Rückstellzeiten nicht stärker als bei herkömmlichen Systemen, da wegen des geringen Gesamtluftspaltes und des kurzen Rückstellverzuges noch eine erhebliche elektrische Energie im Magneteisen gespeichert ist, die im Zusammenwirken mit Wirbelströmen den Rückstellvorgang dämpft. Das Prellen tritt auch stets in der gleichen, reproduzierbaren Weise auf, so daß die Kraftstoffzumeßgenauigkeit nicht beeinträchtigt wird.

Fig.10 zeigt die auf den Anker wirkende Summe der Magnet- und Federkräfte. Der Anker wird zu Beginn der Bewegung von dem die Federkraft übersteigenden Magnetkraftanteil beschleunigt. Zum Zeitpunkt t_1 wird die auf den Anker wirkende Kraft um den Betrag der Zusatzfederkraft vermindert. Die Zusatzmasse löst sich zum Zeitpunkt t_0 , wodurch eine erhöhte Kraft zum Abbremsen der Prellbewegung zur Verfügung steht. Nach dem gegenläufigen Zusammenprall von Anker und Zusatzmasse wird der Anker mit verminderter Kraft in die Endlage gezogen. Nach Abschalten des Erregerstromes zum Zeitpunkt t_2 steht die volle Kraft der beiden Federn zum Rückstellen des Ankers zur Verfügung. Zum Zeitpunkt t_3 wird der Anker von der Kraft der Zusatzfeder entlastet, wodurch der Anker mit verminderter Beschleunigung in die Endlage gezogen wird.

Fig.11 zeigt den Kraftverlauf von Feder- und Magnetkraft als Funktion des Ankerweges. Das beim Anzug zur Ankerbeschleunigung zur Verfügung stehende Arbeitsintegral ist hierbei als kreuzschraffierte Fläche, das Arbeitsintegral der Feder, das die Ankerrückstellung bewirkt, ist als schraffierte Fläche dargestellt. Es ist weiter erkennbar, daß die Kraftverläufe sowohl bei der Anzugs- als auch bei der Rückstellbewegung den Erfordernissen kurzer Bewegungszeiten entsprechen; d.h. daß zu Beginn der jeweiligen Bewegung stark erhöhte Beschleunigungskräfte zur Verfügung stehen.

Um die Vielzahl der möglichen erfindungsgemäßen Ausführungsformen darzustellen, seien abschließend noch zwei weitere technische Realisierungen gezeigt:

Bei dem Einspritzventil Fig.8 wurde durch Parallelschaltung der beiden Federn und durch Hubbegrenzung der Zusatzfeder eine sprungförmige Federcharakteristik erreicht. Die sprungförmige Federcharakteristik läßt sich jedoch auch durch eine Serienschaltung erzielen:

Fig.12 zeigt einen Nadeldruckermagnet, bei dem die Abfallbewegung des Ankers möglichst prellarm verlaufen soll, damit der Anker zwischen den einzelnen Betätigungsspielen schnell zur Ruhe kommt. Beim Anzug hingegen ist der Rückprall erwünscht, um eine schnelle Rückstellbewegung und ein sauberes Druckbild zu erhalten. Der Anker (22) des Druckermagneten wird durch die Rückstellfeder (23) in die Ruhelage gebracht. Die Kraft der Rückstellfeder (23) wird jedoch auf einem Teil des Anfangshubes durch die Zusatzfeder (20) verringert. Somit steht zu Beginn der Anzugsbewegung ein hoher Magnetkraftüberschuß zur Ankerbeschleunigung zur Verfügung. Nach Beendigung des Druckvorgangs wird der Anker durch die volle Kraft der Rückstellfeder (23) beschleunigt und prallt nach Zurücklegen eines Teiles des Rückstellweges auf die Zusatzmasse (21). Die Bewegungsverhältnisse werden wieder so abgestimmt, daß die Prellbewegung des Ankers nach Erreichen der Endlage im Zusammenwirken mit der Zusatzmasse schnell zum Abklingen gebracht wird. Anker und Zusatzmasse können zusätzlich mit einer geräuschkämpfenden Kunststoffauflage versehen werden, die jedoch das erfindungsge-
mäßige Zusammenspiel der beiden Teile kaum beeinflußt.

Fig.13 zeigt ein Hochdruckeinspritzventil zur Kraftstoffeinspritzung bei Dieselmotoren. Wegen des hohen Kraftstoffdrucks treten zu Beginn der Ventilnadelbewegung hohe hydraulische Kräfte auf, deren Kompensation durch die Rückstellfederkraft nur teilweise möglich ist. Nach Beendigung des Einspritzvorgangs muß ein Prellen der Ventilnadel unterbunden werden, um schädliches Nachspritzen zu vermeiden.

Der Anker (75) des Einspritzventils wird durch die Schraubenfeder (77) zur Anlage an die Druckschulter des Druckstücks (78) gebracht. Das Druckstück ist im Anker mit geringem Radialspiel axial beweglich gelagert. Die Ventilnadel (82) ist über ein

Verbindungsrohr (79) mit dem Druckstück verbunden. Das Druckstück, das Verbindungsrohr und die Ventilnadel stehen unter der Kraft der Membranfeder (76). Die als Rückstellfeder wirkende Membranfeder besitzt eine steile Federkraftkennlinie, so daß die auf den Anker wirkende Rückstellkraft gegen Ende des Anzugsvorganges nur knapp unterhalb der Sättigungsinduktionskraft des Magnetsystems liegt. Hierdurch ergibt sich eine sehr gute Anpassung der Magnetkraftkennlinie an den hydraulischen Kraftbedarf der Ventilnadel und ein hoher Kraftüberschuß jeweils zu Beginn der Anzugsbewegung und der Rückstellbewegung.

Nach Einschalten des Erregerstromes setzt sich der Anker gegen die Kraft der Rückstellfeder in Bewegung. Während der Anzugsbewegung findet unter der Ventilnadel ein Druckausgleich statt, der eine zusätzliche starke Druckkraft auf die Ventilnadel in Öffnungsrichtung bewirkt. Die ansteigende Druckkraft auf die Ventilnadel wird von der ansteigenden Kraft der Rückstellfeder überkompensiert, so daß zu Beginn der Anzugsbewegung ein hoher Magnetkraftüberschuß zur Beschleunigung zur Verfügung steht, der gegen Ende der Anzugsbewegung fast vollkommen verschwindet. Nach Erreichen der Endlage wird der Anker wie bereits mehrfach gezeigt von der Kraft der Rückstellfeder entlastet, so daß das Ankerprellen schnell zum Stillstand kommt. Nach dem Abschalten des Erregerstroms steht wieder die volle Kraft der Rückstellfeder (76) zur Verfügung, so daß sich der Anker nahezu verzugsfrei mit hoher Beschleunigung zurückbewegt. Nach Schließen des Ventils löst sich die Verbindung zwischen Anker und Ventilnadel. Durch die im Verhältnis zur Ventilnadelmasse hohe Rückstellfederkraft wird das anschließende Prellen der Ventilnadel wirksam unterdrückt und damit Nachspritzen verhindert. Der Anker (75) wird anschließend durch hydraulische Dämpfungskräfte zum Stillstand gebracht und von der schwachen Kraft der Schraubenfeder (77) mit geringer Geschwindigkeit hydraulisch gedämpft zur Anlage an die Schulter des Druckstücks (78) gebracht.

Durch die den dynamischen und statischen Erfordernissen gut angepaßte Federkennlinie können die Abmessungen des Magnetkreises stark verringert werden. Durch die hohe Rückstellfederkraft ist

es überhaupt erst möglich, bei dem vorliegenden Anwendungsfall bei kleinem Restluftspalt einen tragbaren Rückstellverzug zu erlangen.

Zum Ausgleich von Serienstreuungen ist eine Kalibrierung des dynamischen und des hydraulischen Verhaltens durch zwei Einstellschrauben vorgesehen. Die Federkrafteinstellschraube (70) verändert die Vorspannung der Membranfeder; die Trägerschraube (71) verändert den Hub des Ankers und der Ventilnadel.

Durch Bohrungen im Ventilgehäuse (74) und im Zwischenstück (80) wird der unter möglichst konstantem Druck stehende Kraftstoff zum Sitz der Ventilnadel (82) geleitet. Eine geringe Kraftstoffleckmenge gelangt durch den Spaltraum zwischen Ventilnadel und Ventilnadelführung (83) in das Ventilgehäuse und wird von dort mit geringem Druck zum Kraftstofftank zurückgeführt. Die bewegten Teile des Einspritzventils werden durch den rücklaufenden Kraftstoff geschmiert.

Die Herstellung der Ventilnadelführungsbohrung mit geringem Durchmesser bei hoher Präzision ist kompliziert. Das Ventil kann vereinfacht werden, indem das Gehäuse druckfest ausgebildet wird und der Kraftstoff unter vollem Systemdruck direkt in das Gehäuse geleitet wird, so daß die Ventilnadel bei geöffnetem Ventil nahezu vollständig von einseitig wirkenden hydraulischen Kräften entlastet ist. Der Durchmesser der Ventilnadel kann dann vergrößert werden, ohne daß dies zu vergrößerten hydraulischen Störkräften führt.

Eine weitere zweckmäßige Ausführung ergibt sich, wenn ein Einspritzventil mit druckentlastetem Ankerraum nach Fig.13 mit einer Ventilnadel mit großem Durchmesser versehen wird, und die dann auftretenden zusätzlichen hydraulischen Kräfte durch eine zusätzliche Schraubenfeder ausgeglichen werden. Die Schraubenfeder wird so über der Membranfeder angeordnet, daß sich die nahezu konstante Kraft der Schraubenfeder zu derjenigen der Membranfeder addiert.

Die Membranfeder (76) ist in der Mitte und außen verstärkt. Durch die Verstärkungen, die sich an den Stellen der größten mechanischen Spannungen befinden, wird die Belastbarkeit der Membranfeder erheblich vergrößert. Die Federkonstante der Membranfeder ist in stärkstem Maße von der Membrandicke abhängig. Die Membranfeder besitzt eine einseitig ebene Gestalt, um die Federkonstante zum Ausgleich von Serienstreuungen durch Abschleifen der ebenen Fläche zu justieren. Die Federkonstante ist jedoch auch von den Einspannverhältnissen abhängig, so daß eine Justierung auch durch Abdrehen oder anderweitige Verringerung der Dicke der Verstärkungen der Membranfeder erreicht werden kann.

Es versteht sich von selbst, daß auch bei Einspritzventilen, die nur mit niedrigen Kraftstoffdrücken arbeiten, die Dynamik durch Anwendung von Rückstellfedern mit steiler Federkennlinie verbessert werden kann. Bei Einspritzventilen, bei denen Anker und Ventilschließkörper fest miteinander verbunden sind, ergibt sich eine besonders zweckmäßige Ausführung, wenn die Zusatzmasse mit einer Membranfeder fest verbunden und aus einem Stück gefertigt wird. Eine solche Ausführung kann beispielsweise bei dem Einspritzventil nach Fig.8 eingesetzt werden, indem der Distanzring (14), die Tellerfeder (15) und die Zusatzmasse (16) durch eine Membranfeder mit einer mittigen Bohrung und einer mittigen rohrförmigen Verstärkung vom Gewicht der Zusatzmasse ersetzt wird. Der Distanzring (14) wird durch die äußere Verstärkung der Membranfeder ersetzt. Auf die Schraubenfeder (11) kann dann verzichtet werden.

Bei Einspritzventilen, die als Anker und Ventilschließkörper eine flache Platte besitzen, kann die Membranfeder mit Zusatzmasse kragenförmig um den Anker herumgelegt werden. Eine andere zweckmäßige Ausführung ergibt sich, wenn die Membranfeder über einen mittigen Druckbolzen, der als Zusatzmasse dient, auf den Anker des Magnetsystems wirkt.

Nummer: 33 14 899
Int. Cl.³: H 01 F 7/16
Anmeldetag: 25. April 1983
Offenlegungstag: 25. Oktober 1984

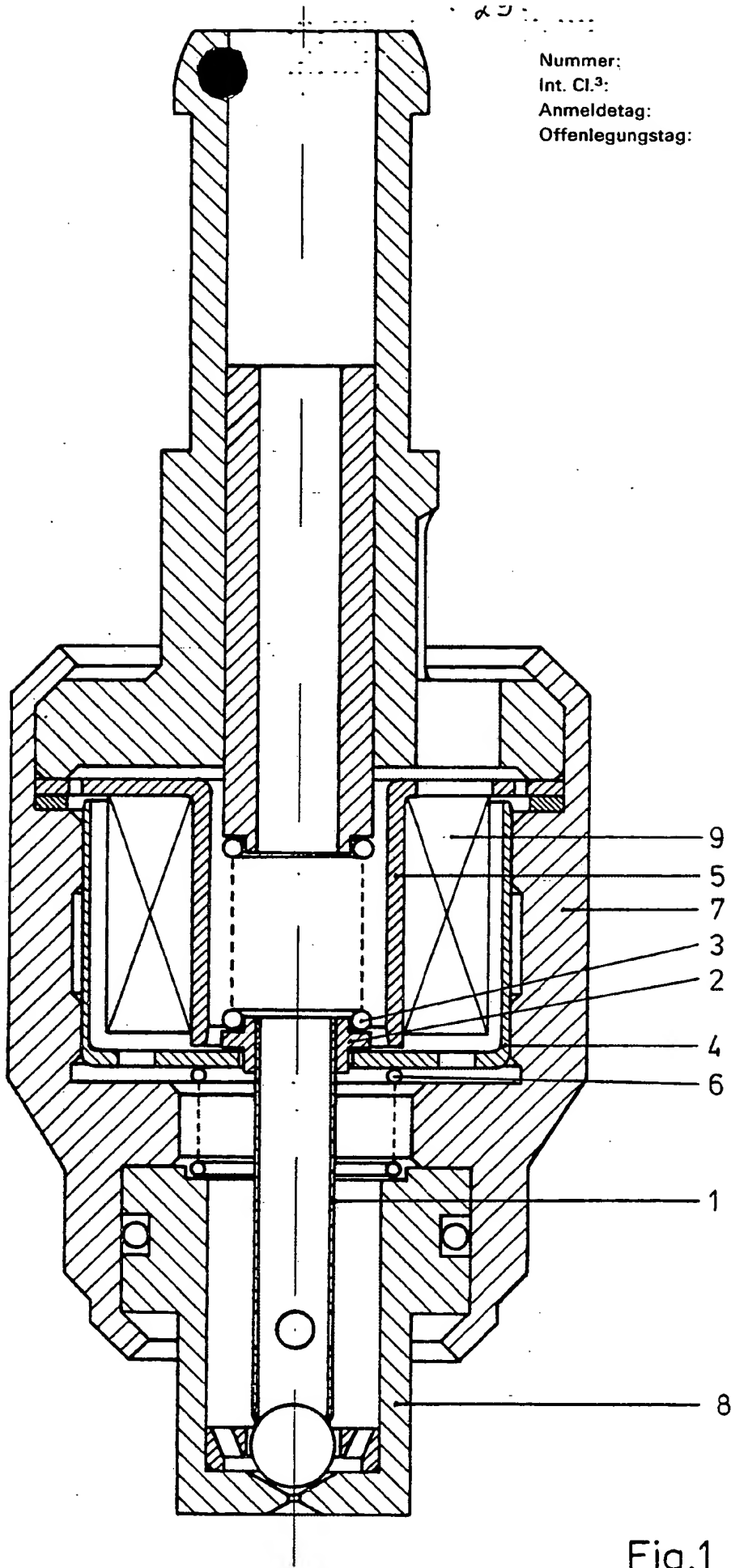


Fig.1

25.04.83

3314899

Fig.2

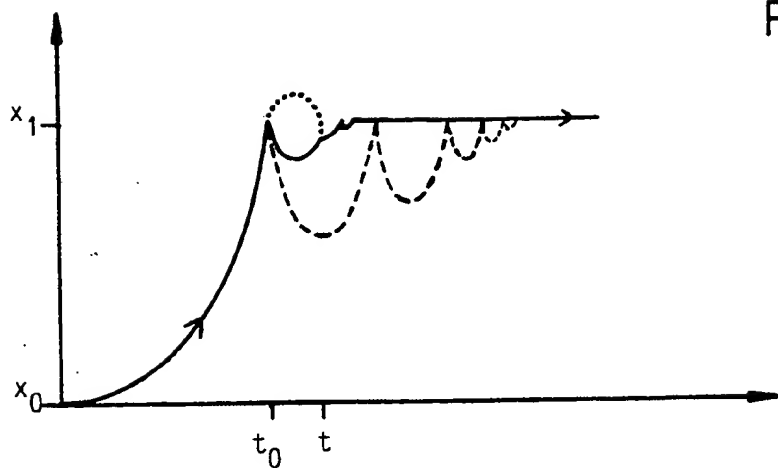
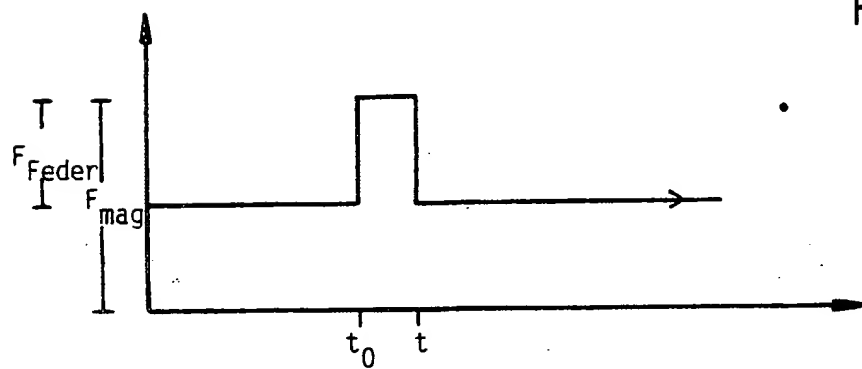


Fig.3



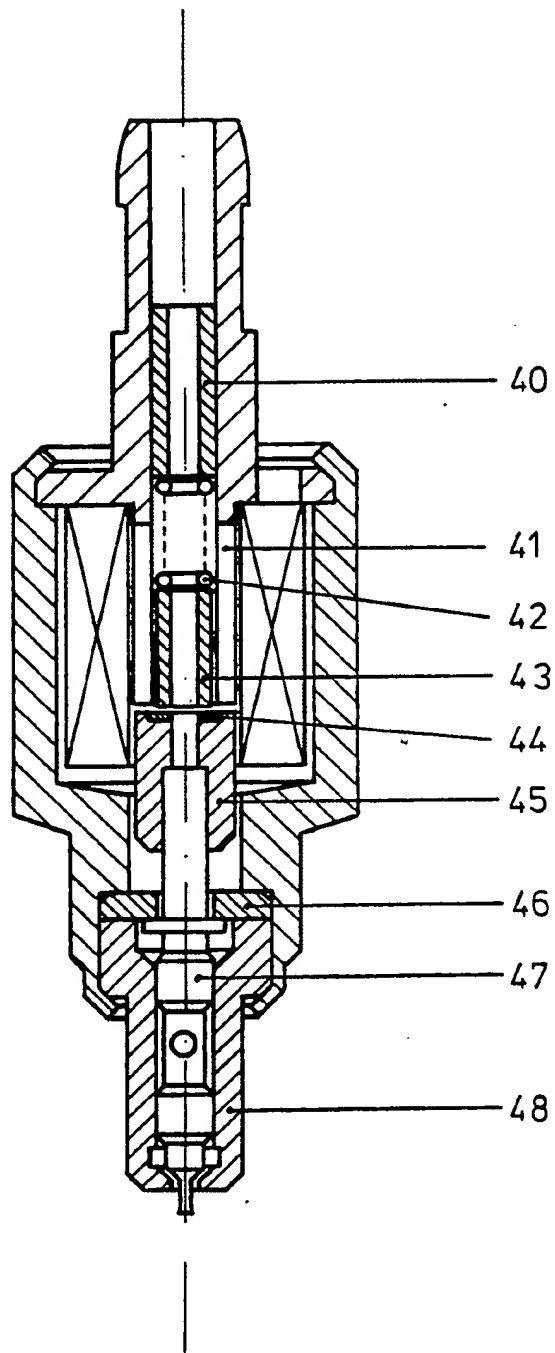


Fig.4

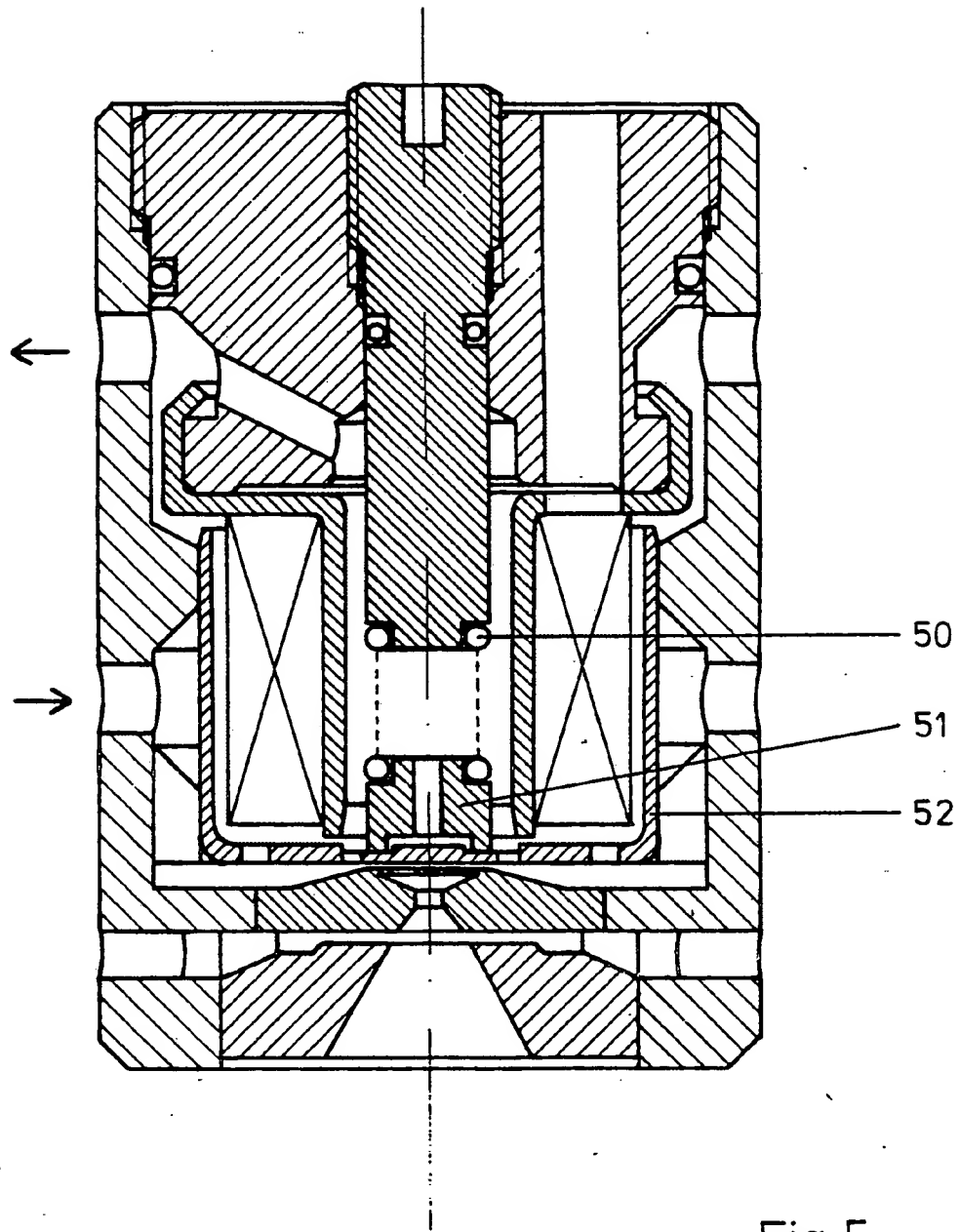


Fig.5

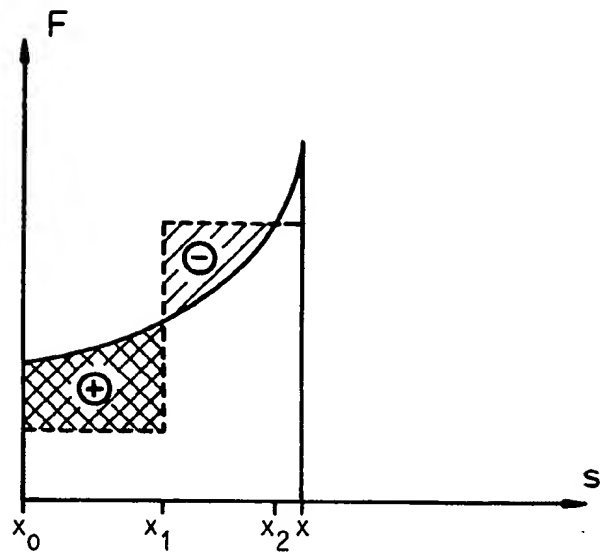


Fig.6

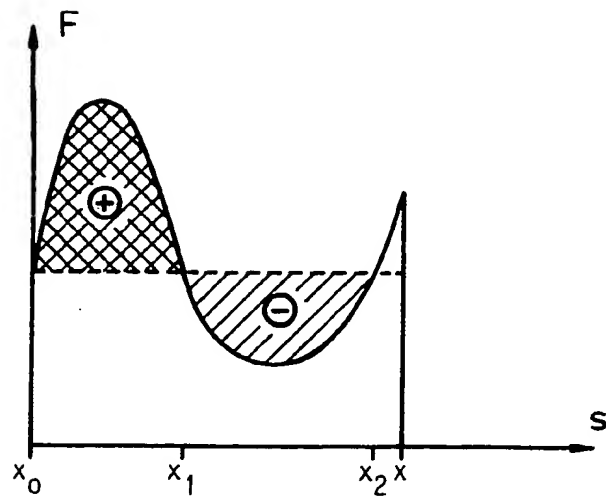


Fig.7

250403

3314899

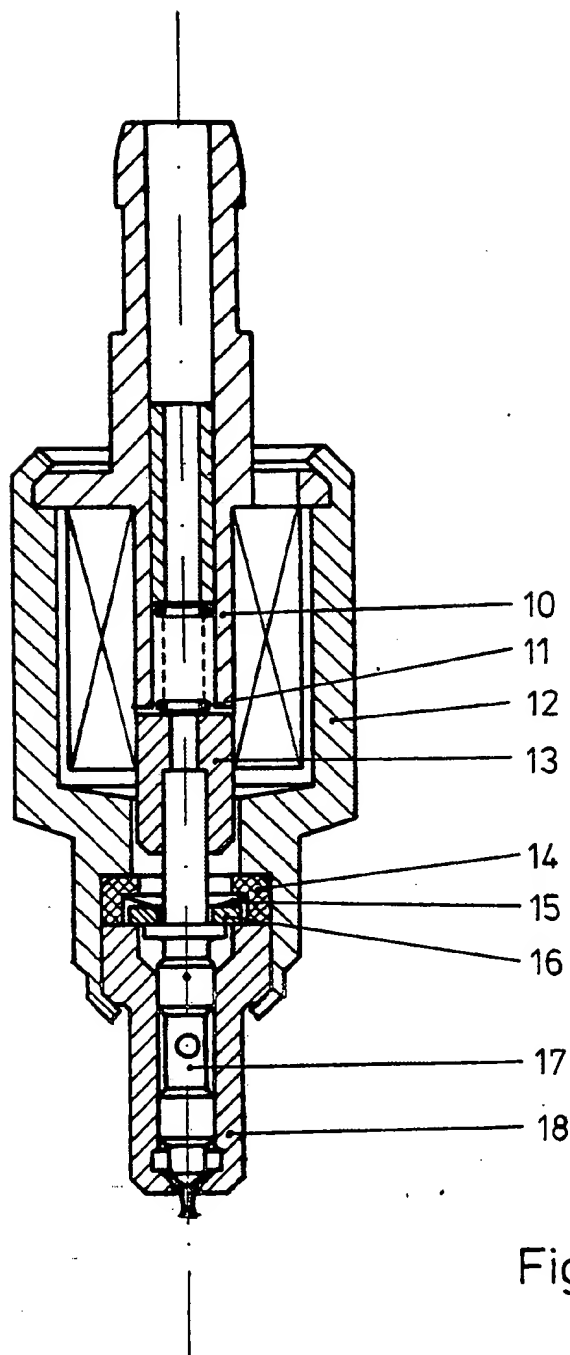


Fig.8

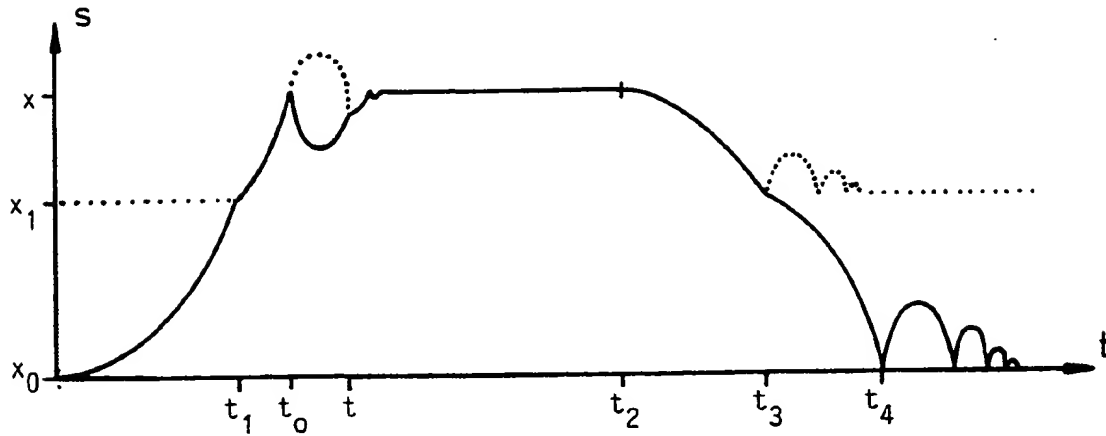


Fig.10

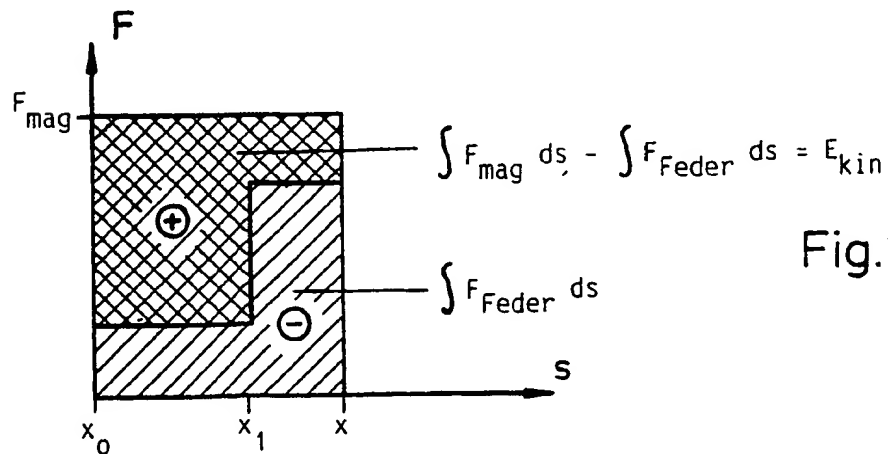
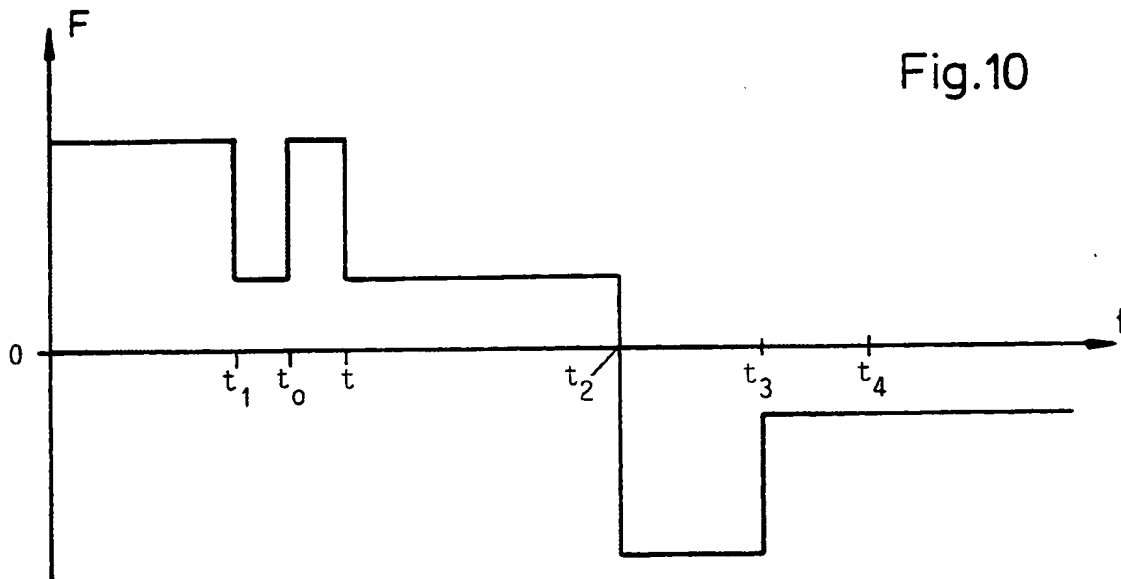


Fig.11

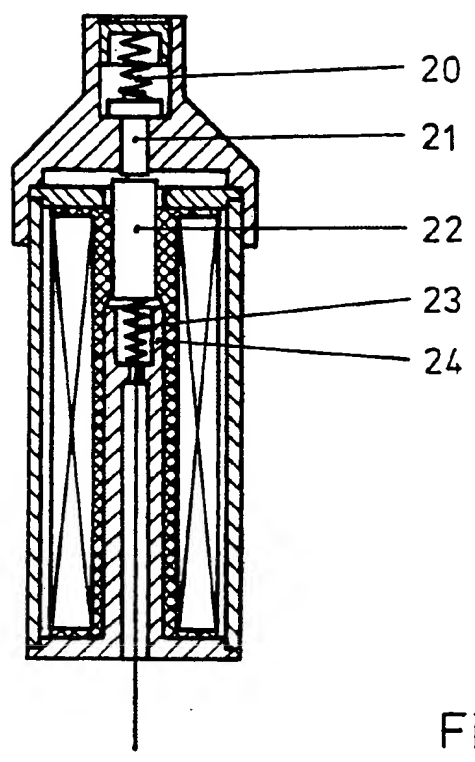


Fig.12

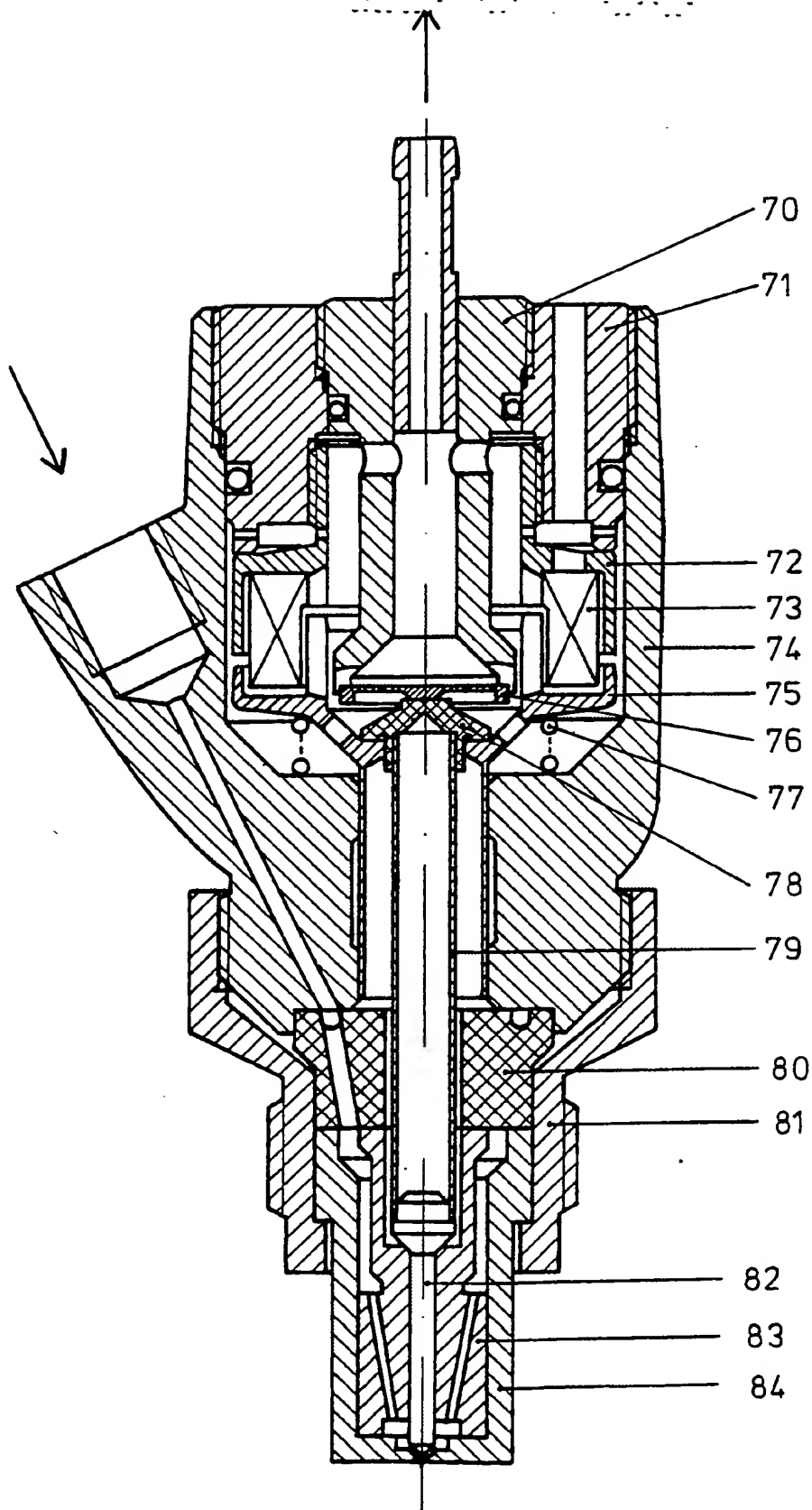


Fig.13